



⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑯ Offenlegungsschrift
⑯ DE 199 59 182 A 1

⑯ Int. Cl. 7:
H 01 L 33/00
H 01 S 5/30

DE 199 59 182 A 1

⑯ Aktenzeichen: 199 59 182.2
⑯ Anmeldetag: 8. 12. 1999
⑯ Offenlegungstag: 28. 6. 2001

⑯ Anmelder:

Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der
Wissenschaften e.V., 80539 München, DE

⑯ Vertreter:

Manitz, Finsterwald & Partner GbR, 80538 München

⑯ Erfinder:

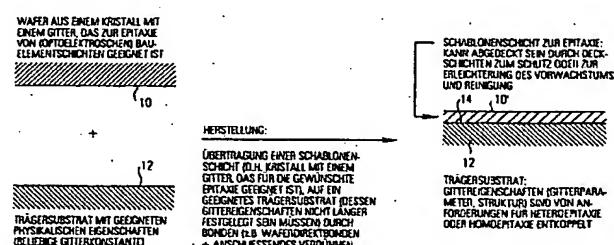
Plößl, Andreas Eberhard, Dr., 06114 Halle, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑯ Verfahren zum Herstellen eines optoelektronischen Bauelements

⑯ Ein Verfahren zum Herstellen eines Substrats, das für das Wachstum einer Abfolge von Epitaxieschichten auf diesem zur Herstellung eines optoelektronischen Bauelements geeignet ist, wobei die Schichtabfolge eine erste Gitterkonstante aufweist und das Substrat eine Substratgitterkonstante aufweist, die gleich oder geringfügig verschieden von der ersten Gitterkonstante ist, ist durch die Schritte gekennzeichnet, daß ein Hilfssubstrat (z. B. ein GaAs-Wafer) mit einer Gitterkonstante ausgewählt wird, die gleich oder geringfügig verschieden von der ersten Gitterkonstante und für das Wachstum der Epitaxieschichten auf diesem geeignet ist, daß das Hilfssubstrat auf ein Trägersubstrat (beispielsweise GaP), das wenigstens eine erwünschte physikalische Eigenschaft aufweist, jedoch eine Gitterkonstante besitzt, die von der ersten Gitterkonstante verschieden ist, beispielsweise ein Trägersubstrat, das für die interessierende Strahlung dem optoelektronischen Bauelement transparent ist, gebondet wird, und daß die Dicke des Hilfssubstrats auf einen kleineren Wert verringert wird. Bei einer Alternative wird eine Epitaxieschicht mit einer gewünschten Gitterkonstante für das Wachstum der Schichtabfolge des gewünschten optoelektronischen Bauelements auf das Hilfssubstrat aufgewachsen, und nach dem Bonden auf das Trägersubstrat wird das Hilfssubstrat vollständig entfernt.

1. GRUNDPRINZIP DER SUBSTRATHERSTELLUNG



DE 199 59 182 A 1

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Substrats, das für ein Wachstum von Epitaxieschichten auf diesem geeignet ist, ein Substrat, und ein optoelektronisches Bauelement.

Bei dem Herstellungsprozeß von optoelektronischen Bauelementen ist es schwierig, wenn nicht unmöglich, ein Substrat aus allgemein erhältlichen Materialien auszuwählen, das alle Anforderungen erfüllt. Häufig werden optoelektronische Bauelemente aus Epitaxieschichten hergestellt. Epitaxie benötigt ein Substrat, dessen Kristallgitter eine Anpassungsschablone für das Wachstum der Schichten bereitstellt, die das optoelektronische Bauelement umfaßt. Um eine gute Herstellbarkeit sicherzustellen, sollte das Material eine ausreichende mechanische Steifigkeit und eine gute Erhältlichkeit aufweisen. Der effiziente Betrieb des Bauelements setzt andererseits bestimmte optische, elektronische oder thermische Eigenschaften voraus. Deshalb werden für die Herstellung von optoelektronischen Bauelementen, wie lichtemittierenden Dioden oder Lasern, die Vertikal-Hohlraum-Oberflächenmissionslaser (vertical cavity surface emitting lasers oder VSEL) umfassen, auf der Grundlage von III-V-Verbindungshalbleitern oder halbleitenden III-V-Legierungen mehrere, möglicherweise einander widersprechende Anforderungen an das Substrat gestellt. Für die Ablagerung der kristallinen Schichten ist eine Wachstumsschablone mit einer geeigneten kristallographischen Struktur erforderlich, um eine Epitaxie zu gestatten. Andererseits sollte das Substrat ein guter Leiter für Elektrizität sein, so daß das Bauelement durch das Substrat hindurch kontaktiert werden kann. Außerdem ist zur Ableitung von Wärme eine gute Wärmeleitfähigkeit des Substrats erforderlich. Der Gesamtwirkungsgrad des Bauelements ist besonders kritisch. Er wird beeinträchtigt, wenn die erzeugten Photonen von dem Substrat absorbiert werden, was daher besonders unerwünscht ist.

Beispielsweise können bei dem Legierungssystem InGaAlP, wenn es an Galliumarsenid gitterangepaßt ist, Direktbandabstand-Halbleiterschichten abgeschieden werden, wobei der Bandabstand irgendeinen Wert im roten bis orangen Teil des sichtbaren Spektrums annimmt. Lichtemittierende Dioden dieses Legierungssystems werden deshalb auf ein Substrat aufgewachsen, dessen Bandabstand kleiner als derjenige der aktiven Schichten ist, und folglich wird ein Teil der Photonen, die in der aktiven Schicht erzeugt werden, in dem Galliumarsenidsubstrat absorbiert. Ein Ansatz, das heteroepitaktische Materialsystem beizubehalten und nichtsdestoweniger die Absorption aufgrund eines Substrats, das im Spektralbereich der aktiven Schichten undurchsichtig ist, zu vermeiden, verwendet Galliumarsenid nur als eine temporäre Wachstumsschablone. Nach Abscheidung des Schichtsystems, das die LED umfaßt, wird das Substrat weggeätzt, und ein transparentes Substrat wird an dessen Stelle durch Waferdirektboden angebracht (siehe Angaben [1-19] der beigefügten Liste). Auf diese Weise kann man die Vorteile der weit entwickelten InGaAlP-Epitaxietechnik beibehalten, ohne einen bedeutenden Teil der erzeugten Photonen aufgrund von Substratabsorption zu verlieren.

Typischerweise wird vor dem Ätzen und Bonden eine dicke transparente Schicht oben auf der LED abgeschieden, nicht zuletzt, um die Filmstruktur mit einer ausreichenden Steifigkeit für die anschließende Handhabung der abgenommenen Struktur zu versehen. Das Direktboden erfordert gewöhnlich sehr glatte und ebene Oberflächen [20]. Dicke abgeschiedene Schichten werden jedoch oft mit Rauigkeit hervorgebracht, und die Fehlanpassung bei der Wärmeaus-

dehnung zwischen dem Substrat und der Schicht kann eine große Wölbung hervorrufen. Beide Schwierigkeiten können überwunden werden, indem unter aufgebrachtem mechanischen Druck gebondet wird. Vom Standpunkt der Herstellbarkeit und Ausbeute aus, wäre jedoch ein Prozeß sehr erwünscht, der die Aufbringung von Druck während des Bondens vermeidet. Es ist allgemein anerkannt, daß es schwierig ist, einen Druck in einer einzigen Achse gleichmäßig über große Flächen aufzubringen. Eine ungleichmäßige Druckaufbringung kann eine plastische Verformung oder einen Bruch bewirken. Insbesondere das Vermeiden des Bond-Schrittes nach dem Abscheiden der aktiven Schichten könnte zu einer wesentlichen Vereinfachung des Herstellungsprozesses und zu einer potentiellen Verbesserung der Ausbeute beitragen. Ein Glätten der Oberfläche mit mechanischem Druck bringt eine Verformung der Erhebungen mit sich, was die Rauigkeit hervorruft, und in den meisten Fällen wird diese eine plastische Verformung sein. Diese wiederum kann die aktiven Schichten beschädigen.

Es ist das Ziel der vorliegenden Erfindung, Verfahren zum Herstellen eines Substrats und Substrate bereitzustellen, die leicht mit vorhandener Technik realisiert werden können und die die oben beschriebenen Schwierigkeiten und die Probleme von einander widersprechenden Anforderungen überwinden.

Um dieses Ziel zu erreichen, sind die Verfahren, Substrate und optoelektronische Bauelemente vorgesehen, die in den beigefügten Ansprüchen dargelegt und in der Beschreibung beschrieben sind.

Daher entkoppelt die vorliegende Erfindung die verschiedenen Anforderungen, die an das ideale optoelektronische Epitaxiesubstrat gestellt werden, durch ein speziell kombiniertes Schichtsubstrat. Eine Schicht mit einer geeigneten Gitterkonstanten, um als Wachstumsschablone zu dienen, ist an einem Substrat mit geeigneten optischen, elektronischen, thermischen oder mechanischen Eigenschaften angebracht, so daß das kombinierte Substrat die Gesamtanforderungen erfüllt, die an das Substrat für das optoelektronische Bauelement gestellt werden. Die Schicht oder Schichten sind an dem Substrat über Waferdirektboden angebracht. Die Schichten selbst können von massiven Kristallen abgenommen oder epitaktisch aufgewachsen werden. Die Schichten können von ihrem Substrat über Ätzen oder ionenstrahlinduzierte Schichtablösung (exfoliation) oder über eine Kombination beider Techniken abgenommen werden. Das Volumen dieses Verbundsubstrats muß nicht aus einem Einkristallsubstrat bestehen, sondern kann ein gesinterter, polykristalliner oder amorpher Wafer sein.

Um bei dem obigen Beispiel zu bleiben, könnte ein erstes einfaches Ausführungsbeispiel der Erfindung über eine sehr dünne Galliumarsenidschicht als Wachstumsschablone auf einem transparenten Substrat realisiert werden. Zusätzlich zu Transparenz, wäre eine gute Wärme- und elektrische Leitfähigkeit ein wichtigstes Erfordernis, so daß dieses Substrat für eine Ableitung von Wärme verwendet und auf seiner Rückseite für einen Stromkontakt elektrisch kontaktiert und als eine Stromausbreitungsschicht verwendet werden kann. Eine mögliche Materialwahl für das transparente Substrat ist deshalb Galliumphosphid, das dotiert werden kann, um eine ausreichende elektrische Leitfähigkeit zu erreichen. Wasserstoffimplantation in Galliumarsenid vor dem Bonden mit Galliumphosphid gestattet eine gute Kontrolle der abschließenden Dicke der Galliumarsenidschicht nach dem Spalten (siehe beispielsweise US-PS 5 877 070 und CT/EP99/07230), wobei Schichtdicken, die viel dünner als 100 nm sind, undurchführbar werden. Der Nachteil dieses einfachen Ansatzes ist die Restabsorption, die durch die dünne (ca. 100 nm) Galliumarsenidschicht hervorgerufen

wird. Dünne Schichten könnten über eine Kombination von Epitaxie und ionenstrahlinduzierter Schichtablösung realisiert werden. Eine dünne Galliumarsenidschicht kann auch auf eine Ätzstopsschicht abgeschieden werden. Eine Möglichkeit ist es, die Ätzstop- und Galliumarsenidschichten auf dem Galliumarsenidsubstrat auf ein geeignetes Substrat, etwa Galliumphosphid, beispielsweise über Bonden und ionenstrahlinduzierte Schichtablösung zu übertragen. Ein anschließendes Ätzen und Entfernen der Ätzstopsschicht würde eine sehr dünne Schicht aus Galliumarsenid (ca. 10 nm) zurücklassen. Dies würde das Absorptionsproblem verringern, jedoch nicht beseitigen.

Beispielsweise würde für GaAs auf GaP und Photonen mit 500 nm Wellenlänge, was 2-5 eV Energie entspricht, eine GaAs-Schicht mit 10 nm ungefähr 10% bei normalem Durchgang absorbieren. Von Licht mit 600 nm (2 eV) würde eine GaAs-Schicht mit 25 nm ungefähr 10% bei normalem Durchgang absorbieren.

Ein besonders bevorzugter Ansatz würde eine dünne Galliumarsenidschicht nicht auf ein geeignetes Substrat, beispielsweise Galliumphosphid, übertragen, sondern eine gitterangepaßte Verbundhalbleiterschicht, die auf Galliumarsenid aufgewachsen ist, so daß deren Bandabstand Transparenz in dem relevanten Spektralbereich sicherstellt. Die Schicht könnte ein im wesentlichen gitterangepaßter direkter oder vorzugsweise indirekter Halbleiter sein. Beispielsweise könnte die Schicht aus dem InGaAlP-Legierungssystem oder dem AlInP-System entnommen werden. Eine Wasserstoffimplantation vor dem Bonden gestattet eine Übertragung der dünnen Schicht ohne den ursprünglichen Galliumarsenidwafer zu verlieren. Alternativ könnte genauso gut ein einfacher Ätzstop-Ansatz und ein Entfernen der Galliumarsenidschicht verwendet werden. Wenn die transparente Schicht dick genug aufgewachsen wird, könnte das Spalten auch in der transparenten Schicht stattfinden.

Ebdieselbe Idee für ein geschichtetes Epitaxiesubstrat könnte auch auf einer Gitterkonstante beruhen, die sich von der herkömmlichen, auf Galliumarsenid beruhenden Legierungstechnik unterscheidet. Innerhalb des Beispiels der auf AlGaInP beruhenden, lichtemittierenden Dioden könnte Germanium als ein geeignetes Substrat verwendet werden. Die Abscheidung der optoelektronisch aktiven Schichten muß dann auf die unterschiedliche Gitterkonstante eingestellt werden. Die Verwendung einer unterschiedlichen Gitterkonstante eröffnet einen zusätzlichen Freiheitsgrad bei der Bandabstandseinstellung über heteroepitaktische Synthese. Da nur dünne Schichten erforderlich sind, können auch verspannte, gitterfehlgepaßte Legierungen, wie GaAlP auf GaAs, verwendet werden.

Das Substrat, auf das die kristalline Wachstumsschablone übertragen werden soll, kann ein gesinterter oder polykristalliner oder einkristalliner Wafer aus einem Material mit einer geeigneten optischen Transparenz, einer angemessenen elektrischen Leitfähigkeit und einer ausreichenden Wärmeleitfähigkeit sein. Das Substrat kann weniger spröde als der herkömmlich verwendete Einkristall sein, wodurch das Risiko eines Bruches während der Herstellung verringert wird. Die Rückseite des Substrats kann eben oder strukturiert sein.

In dem Fall von lichtemittierenden Dioden kann die Verwendung einer nicht monokristallinen Probe die Rohchipherstellung durch Spaltung schwierig gestalten. Jedoch kann ein Sägen der Rückseite des transparenten Substrats eine Ausbildung von pyramidenförmigen Strukturen mit einer zusätzlichen Verbesserung der Lichtausgangsleistung gestalten [21].

Die vorliegende Erfindung wird im folgenden ausführlicher anhand besonderer Beispiele erläutert, wie sie in der Zeichnung veranschaulicht sind, in der:

Fig. 1 ein Diagramm ist, das den Bandabstand (in Elektronenvolt) und die Wellenlängen (in μm) von lichtemittierenden Dioden auf der Grundlage von III-V-Verbindungs halbleitern mit Bezug auf die Gitterkonstanten (in \AA) veranschaulicht.

Fig. 2 eine Reihe von Skizzen ist, die das Grundprinzip der Substratherstellung gemäß der Erfindung zeigt,

Fig. 3 eine Reihe von Skizzen ist, die eine Möglichkeit einer Realisierung des Grundprinzips der Substratherstellung gemäß Fig. 2 veranschaulicht,

Fig. 4 eine Reihe von Skizzen ist, die eine weitere Möglichkeit einer Realisierung des Prinzips der Substratherstellung veranschaulicht, die in Fig. 2 veranschaulicht ist,

Fig. 5 eine Reihe von Skizzen ist, die eine bevorzugte Möglichkeit einer Herstellung eines Substrats gemäß der Erfindung veranschaulicht,

Fig. 6 eine Reihe von Skizzen ist, die eine zweite bevorzugte Möglichkeit einer Realisierung eines Substrats gemäß der vorliegenden Erfindung veranschaulicht,

Fig. 7 eine Reihe von Skizzen ist, die eine weitere Möglichkeit einer Realisierung eines Substrats gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt, und

Fig. 8 Beispiele von zwei Substraten sind, die gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt sind.

In Fig. 1 ist zu sehen, daß ein GaAs-Substrat einen Bandabstand von ungefähr 1,4 eV und eine Gitterkonstante von ungefähr 5,65 \AA aufweist. Außerdem ist aus dem Diagramm zu sehen, daß für irgendeinen gewünschten Bandabstand im roten bis orangen Spektrum AlInGaP-Legierungszusammensetzungen gefunden werden können, so daß ein kontinuierlicher Bereich von Gitterkonstanten abgedeckt ist. Im Gegensatz dazu ist zu sehen, daß, wie es durch die vertikale punktierte Linie beispielhaft ausgeführt ist, für eine gegebene Gitterkonstante, hier diejenige von GaAs, AlInGaP-Legierungszusammensetzungen existieren, die einen kontinuierlichen Bereich von Bandabstandsenergien von ungefähr 1,90 bis ungefähr 2,35 eV bei dem gegebenen Beispiel abdecken. Dieser Bereich entspricht demjenigen roten Lichtes.

Es ist festzustellen, daß, weil der Bandabstand von GaAs wesentlich kleiner als der Bandabstand von AlInGaP ist, Licht mit einer Energie im Bereich von 1,90 bis 2,35 leicht von dem GaAs absorbiert werden wird und somit die Lichtausbeute von einer aus AlInGaP hergestellten Diode verringern wird.

Das Diagramm von Fig. 1 zeigt auch direkte und indirekte Bandabstände für anders zusammengesetzte Halbleitermaterialien der Klasse III-V.

Es ist die Absicht der vorliegenden Erfindung, ein Substrat zu schaffen, das eine Gitterkonstante aufweist, die gleich derjenigen von GaAs ist oder ziemlich nahe bei dieser liegt, das für das epitaktische Wachstum einer Abfolge von Epitaxieschichten verwendet werden kann, die notwendig ist, um ein optoelektronisches Bauelement zu realisieren, jedoch ohne wesentliche Absorption von Licht durch das Substrat, und wobei das Substrat andere erwünschte Eigenschaften für die Realisierung des optoelektronischen Bauelements aufweist, wie gute Leitfähigkeit, mechanische Unterstützung und angemessene Wärmeleitfähigkeit. Verschiedene Möglichkeiten, durch die dies vorgenommen werden kann, sind in den Fig. 2 bis 7 veranschaulicht, deren Beschriftung ihren Inhalt im Grunde selbsterklärend macht.

In Fig. 2 wird ein Hilfssubstrat 10, wie GaAs, auf ein Trägersubstrat 12, wie GaP, gebondet, und das resultierende, gebondete Substrat 14 wird behandelt, um die Schicht des GaAs-Substrats 10 zu verdünnen, so daß eine verdünnte Schicht 10' mit beispielsweise ungefähr 10 nm Dicke auf dem GaP-Substrat getragen zurückbleibt. Diese GaAs-

Schicht 10' ist eine geeignete Schablone für das epitaktische Wachstum einer Schichtabfolge, die notwendig ist, um ein optoelektronisches Bauelement, wie eine lichtemittierende Diode, zu realisieren. Das heißt, die verdünnte GaAs-Schicht 10' weist eine Gitterkonstante auf, die derjenigen der Epitaxieschichten entspricht, die auf diese aufgewachsen werden sollen (in Fig. 2 nicht gezeigt). Die dünne Natur der GaAs-Schicht 10' bedeutet, daß relativ wenig Licht in ihr verlorengehen wird, etwa ungefähr 10% von irgendwelchem Licht, das durch diese hindurchtritt. Das Trägersubstrat 12 aus GaP weist eine Gitterkonstante auf, die von derjenigen von GaAs verschieden ist, und wird somit für das Wachstum der Schichtabfolge auf diesem ungeeignet sein. Jedoch weist es die mechanischen, optischen und elektrischen Eigenschaften auf, die für ein Substrat für ein optoelektronisches Bauelement, wie eine lichtemittierende Diode, notwendig sind.

Fig. 3 ist im Grunde Fig. 2 ähnlich, erläutert jedoch, daß das Verdünnen des Substrats 10, um die verdünnte Substratschicht 10' zu erzeugen, durch mechanische Mittel, durch chemisch-mechanische Mittel, durch plasma-chemische Mittel, oder dergleichen stattfinden kann.

Fig. 4 ist wieder Fig. 2 ähnlich, zeigt jedoch eine bevorzugte Ausführungsform dieser Variante der Erfindung, bei der Wasserstoffionen 16 in das GaAs-Substrat 10 implantiert werden, um vor dem Bonden eine Konzentration von Wasserstoffionen 18 auf einer Höhe innerhalb des GaAs-Substrats 10 zu erzeugen, so daß, nach dem Bonden des Substrats 10 mit dem Substrat 12, um das gebondete Substrat 14 zu bilden, das Substrat 10 auf der Höhe der Wasserstoffionen 18 gespalten werden kann, um zu der dünnen Schicht 10' zu gelangen, die in dem Diagramm auf der rechten Seite von Fig. 4 gezeigt ist. Das Spalten kann thermisch oder mechanisch eingeleitet werden. Gegebenenfalls kann die Spaltfläche über Polieren oder durch Oberflächendiffusion oder Ätzen geglättet werden.

Die Fig. 5 bis 7 zeigen drei Alternativen zum Verwirklichen einer geeigneten Wachstumsschablone zur epitaktischen Abscheidung einer Schichtabfolge, um ein optoelektronisches Bauelement zu realisieren, mit den Verfahren der Fig. 5 bis 7 unter Verwendung eines GaAs-Hilfssubstrats 10 wie zuvor, wobei jedoch vor dem Wachstum der Schichtabfolge vollständig auf dieses Hilfssubstrat verzichtet wird.

Bei dem Beispiel von Fig. 5 werden daher zunächst eine Epitaxieschicht oder Epitaxieschichten 20 auf das Substrat 10 aufgewachsen, und diese weisen somit die gleiche Gitterkonstante wie das Substrat 10 auf. Diese Epitaxieschicht oder diese Epitaxieschichten können beispielsweise aus InGaAlP bestehen. Nach dem Wachstum der Epitaxieschicht oder Epitaxieschichten 20 wird das Substrat 10 auf das Substrat 12 gebondet, so daß die Epitaxieschicht oder Epitaxieschichten lagenweise zwischen dem Substrat 12 und dem Substrat 10 in der gebondeten Struktur 14 angeordnet sind.

Danach wird die GaAs-Schicht vollständig entfernt, beispielsweise durch Ätzen oder andere Mittel, so daß nur die Epitaxieschicht oder Epitaxieschichten 20 mit der gewünschten Gitterkonstante auf dem Trägersubstrat 12 mit einer verschiedenen Gitterkonstante vorhanden sind. Die Schicht oder Schichten 20, die aus InGaAlP bestehen, sind für rotes Licht transparent, wodurch praktisch kein Lichtverlust auftritt, wenn ein optoelektronisches Bauelement, wie eine rotes Licht emittierende Diode auf die freigelegte Oberfläche der Schicht oder Schichten 20 aufgewachsen wird.

In Fig. 6 wird zuerst eine Ätzstopschicht 22 auf das Substrat 10 vor dem Wachstum der Epitaxieschicht oder Epitaxieschichten 20 und vor dem Bonden auf das Trägersubstrat 12 aufgewachsen. Die gebondete Struktur 14 kann dann einem Ätzen unterzogen werden, um das GaAs-Substrat 10

hinunter bis zur Ätzstopschicht zu entfernen. Die gewünschte Schichtabfolge für das optoelektronische Bauelement kann dann oben auf die Ätzstopschicht 22 aufgewachsen werden. Als eine Alternative kann die Ätzstopschicht 5 auch entfernt werden, indem zu einer geeigneten Ätzmischung gewechselt wird, so daß, wie es ganz rechts in Fig. 6 gezeigt ist, die freigelegte Oberfläche der Schicht oder Schichten 20 dann für das epitaktische Wachstum des gewünschten optoelektronischen Bauelements verwendet wird.

In Fig. 7 in der oberen Reihe der Skizzen werden wieder Wasserstoffionen 16 in das Substrat 10 vor dem Wachstum der Epitaxieschicht oder Epitaxieschichten 20 auf diesem implantiert. Nach dem Waferbonden mit dem Trägersubstrat 12 resultiert das gebondete Substrat 14 der oberen Reihe. Die GaAs-Schicht 10 kann dann auf der Höhe der "Wasserstoffionenschicht" gespalten werden, und das restliche Material des GaAs-Substrats 10, d. h., zwischen der Wasserstoffionenschicht und der Epitaxieschicht 20 wird, beispielsweise durch Ätzen, entfernt.

Wie es ganz rechts in Fig. 7 gezeigt ist, legt dies eine Oberfläche der Epitaxieschicht oder den Epitaxieschichten 20 frei, die für das Wachstum des optoelektronischen Bauelements verwendet werden kann bzw. können, wobei die Epitaxieschicht oder Epitaxieschichten 20 wieder von dem Trägersubstrat 12 getragen ist. Als eine Alternative, die in der mittleren Reihe gezeigt ist, könnten zunächst die Epitaxieschichten 20 auf das Substrat 10 aufgewachsen werden, und dann könnte eine Ionenimplantation ausgeführt werden, so daß wieder eine Struktur erzeugt wird, die der Struktur rechts in der oberen Reihe der Fig. 7 entspricht, die wieder mit dem Trägersubstrat 12 gebondet ist.

Als eine weitere Alternative, die in der unteren Reihe von Fig. 7 gezeigt ist, kann die Ionenimplantation auf eine solche Weise ausgeführt werden, daß die "Ionenschicht" 18 nicht in dem Substrat 20 sondern vielmehr in der Epitaxieschicht oder den Epitaxieschichten 20 vorgesehen ist. Nach dem Waferbonden und Teilen an der implantierten Wasserstoffionenschicht, wird das Substrat 10 zusammen mit einem Teil der Epitaxieschichten 20 in einem Schritt entfernt, so daß kein restlicher Teil des Hilfssubstrats 10 durch Ätzen entfernt werden muß.

Schließlich zeigt Fig. 8 zwei typische Beispiele von erfindungsgemäß erzeugten Substraten, die für das Wachstum einer Schichtabfolge geeignet sind, um optoelektronische Bauelemente zu bilden. Bei Beispiel 1 von Fig. 8 würde die Schichtabfolge oben auf der dünnen GaAs-Schicht aufgewachsen werden, und bei Beispiel 2 würde sie auf der freigelegten Oberfläche der InGaAlP-Schicht aufgewachsen werden.

Es ist jedoch nicht wesentlich, GaAs als das Hilfssubstrat zu verwenden. Statt dessen könnte man beispielsweise ein leicht erhältliches Ge-Substrat verwenden. Wie es oben gezeigt wurde, gestattet eine geringfügige Veränderung der Legierungszusammensetzung die Einstellung der Gitterkonstante der Schichten des optoelektronischen Bauelements. Hier unterscheidet sich die Gitterkonstante geringfügig von derjenigen, die typischerweise für die Schichtabfolge des optoelektronischen Bauelements verwendet wird. Andererseits kann der geringfügige Unterschied ein großer Vorteil sein, da nun Bauelemente mit verspannter Schicht aufgewachsen werden können, die vorzügliche Eigenschaften aufweisen können. Eine Grenze für den Fehlanpassungsgrad der Gitterkonstante ist erreicht, wenn Kristallfehler auftreten, die das Wachstum der Schichtabfolge von Epitaxieschichten in einer Qualität verhindern, die notwendig ist, um ein leistungsfähiges optoelektronisches Bauelement zu realisieren.

Es ist festzustellen, daß die Erfindung eine allgemeine Anwendbarkeit aufweist und in jedem Fall verwendet werden kann, wenn ein Substrat für eine besondere Anwendung speziell hergestellt werden muß und nicht als ein Standard-Wafer erhältlich ist. Das heißt, die Erfindung ist nicht auf III-IV-Matrixsysteme beschränkt.

Quellenverzeichnis

[1] F. A. Kish, D. A. DeFevere, D. A. Vanderwater, G. R. Trott, R. J. Weiss und J. S. Major Jr., "High luminous flux semiconductor wafer bonded AlGaInP/GaP large-area emitters", Electron. Lett., Bd. 30, S. 1790–1792, 1994.

[2] F. A. Kish, F. M. Steranka, D. C. DeFevere, D. A. Vanderwater, K. G. Park, C. P. Kuo, T. D. Osentowski, M. J. Peansky, J. G. Yu, R. M. Fletcher, D. A. Steigerwald, M. G. Crawford und V. M. Robbins, "Very high efficiency semiconductor wafer bonded transparent-substrate $(Al_xGa_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P/GaP$ light-emitting diodes", Appl. Phys. Lett., Bd. 64, S. 2839–2841, 1994.

[3] D. A. Vanderwater, L.-H. Tan, G. E. Höfler, D. C. DeFevere und F. A. Kish, "High-brightness AlGaInP light emitting diodes", Proc. IEEE, Bd. 85, S. 1752–1764, 1997.

[4] G. E. Höfler, D. A. Vanderwater, D. C. DeFevere, F. A. Kish, M. D. Camras, F. M. Steranka und I.-H. Tan, "Wafer bonding of 50-mm diameter GaP to AlGaInP-GaP light emitting diode wafers", Appl. Phys. Lett., Bd. 69, S. 803–805, 1996.

[5] D. A. Vanderwater, F. A. Kish, M. J. Peansky und S. J. Rosner, "Electrical conduction through compound semiconductor wafer bonded interfaces", J. Cryst. Growth, Bd. 174, S. 213–219, 1997. (American Crystal Growth 1996 und Vapor Growth and Epitaxy 1996. Tenth American Conference on Crystal Growth und Ninth International Conference on Vapor Growth and Epitaxy. Vail, CO, USA, 4–9 Aug. 1996).

[6] F. A. Kish, D. A. Vanderwater, D. C. DeFevere, D. A. Steigerwald, G. E. Höfler, K. G. Park und F. M. Steranka, "Highly reliable and efficient semiconductor wafer bonded AlGaInP/GaP light-emitting diodes", Electron. Lett., Bd. 32, S. 132–134, 1996.

[7] F. A. Kish und R. M. Fletcher, "AlGaInP Light-emitting diodes," in High Brightness Light Emitting Diodes, G. B. Stringfellow und M. G. Crawford, Eds. Semiconductor and Semimetals, 48, R. K. Willardson und E. R. Weber, Eds. San Diego: Academic Press, 1997, Kap. 5, S. 149–226.

[8] N. F. Gardner, H. C. Chui, E. I. Chen, M. R. Krames, J.-W. Huang, F. A. Kish, S. A. Stockman, C. P. Kocot, T. S. Tan und N. Moll, "1.4* efficiency improvement in transparent-substrate $(Al_xGa_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$ light-emitting diodes with thin ($\leq 2000 \text{ \AA}$) active regions", Appl. Phys. Lett., Bd. 74, S. 2230–2232, 1999.

[9] G. E. Höfler, C. Carter-Coman, M. R. Krames, N. F. Gardner, F. A. Kish, T. S. Tan, B. Loh, J. Posselt, D. Collins und G. Sasser, "High-flux high efficiency transparent-substrate AlGaInP/GaP light-emitting diodes", Electron. Lett., Bd. 34, S. 1781–1782, 1998.

[10] M. R. Krames, M. Ochiai-Holcomb, G. E. Höfler, C. Carter-Coman, E. I. Chen, I.-H. Tan, P. Grillot, N. F. Gardner, H. C. Chui, J.-W. Huang, S. A. Stockman, F. A. Kish, M. G. Crawford, T. S. Tan, C. P. Kocot, M. Hueschen, J. Posselt, B. Loh, G. Sasser und D. Collins, "High-power truncated-inverted-pyramid $(Al_xGa_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P/GaP$ light-emitting diodes exhibiting > 50% external quantum efficiency", Appl. Phys. Lett., Bd. 75, S. 2365–2367, 1999.

[11] F. A. Kish, F. M. Steranka, D. C. DeFevere, V. M. Robbins und J. Uebbing, "Wafer bonding of light emitting diode layers," von Hewlett-Packard Company (Palo Alto, CA), US-Patent 5 376 580, 1994.

[12] F. A. Kish, F. M. Steranka, D. C. DeFevere, V. M. Robbins und J. Uebbing, "Wafer bonding of light emitting diode layers," von Hewlett-Packard Company (Palo Alto, CA), US-Patent 5 502 316, 1996.

[13] F. A. Kish Jr. und D. A. Vanderwater, "Method for bonding compound semiconductor wafers to create an ohmic interface," von Hewlett-Packard Company (Palo Alto, CA), US-Patent 5 661 316, 1997.

[14] F. A. Kish Jr. und R. P. Schneider Jr., "Transparent substrate vertical cavity surface emitting lasers fabricated by semiconductor wafer bonding," von Hewlett-Packard Company (Palo Alto, CA), US-Patent 5 724 376, 1998.

[15] M. R. Krames und F. A. Kish Jr., "Ordered interface texturing for a light emitting device," von Hewlett-Packard Company (Palo Alto, CA), US-Patent 5 779 924, 1998.

[16] F. A. Kish Jr. und D. A. Vanderwater, "Method for bonding compounds semiconductor wafers to create an ohmic interface," von Hewlett-Packard Company (Palo Alto, CA), US-Patent 5 783 477, 1998.

[17] F. A. Kish Jr. und S. A. Stockman, "Transparent substrate light emitting diodes with directed light output," von Hewlett-Packard Company (Palo Alto, CA), US-Patent 5 793 062, 1998.

[18] F. A. Kish Jr. und R. P. Schneider Jr., "Fabrication of transparent substrate vertical cavity surface emitting lasers by semiconductor wafer bonding," von Hewlett-Packard Company (Palo Alto, CA), US-Patent 5 837 561; 1998.

[19] R. H. Haitz und F. A. Kish Jr., "Highly reflective contacts for light emitting semiconductor devices," von Hewlett-Packard Company (Palo Alto, CA), US-Patent 5 917 202, 1999.

[20] A. Plößl und G. Kräuter, "Wafer Direct Bonding: Tailoring Adhesion Between Brittle Materials", Mater. Sci. Eng. R Rep., Bd. 25, S. 1–88, 1999.

[21] R. H. Haitz, "Light-emitting diode with diagonal faces," von Hewlett-Packard Company (Palo Alto, CA), US-Patent 5 087 949, 1992.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines Substrats, das für das Wachstum einer Abfolge von Epitaxieschichten auf diesem zur Erzeugung eines optoelektronischen Baulements geeignet ist, wobei die Schichtabfolge eine erste Gitterkonstante aufweist und das Substrat eine Substratgitterkonstante aufweist, die gleich oder geringfügig verschieden von der ersten Gitterkonstante ist, wobei das Verfahren durch die folgenden Schritte gekennzeichnet ist, daß:

- ein Hilfssubstrat (z. B. ein GaAs-Wafer) mit einer Gitterkonstanten ausgewählt wird, die gleich oder geringfügig verschieden von der ersten Gitterkonstante und für das Wachstum der Epitaxieschichten auf diesem geeignet ist,
- das Hilfssubstrat auf ein Trägersubstrat (beispielsweise GaP) gebondet wird, das mindestens eine erwünschte physikalische Eigenschaft aufweist, jedoch eine Gitterkonstante besitzt, die von der ersten Gitterkonstante verschieden ist, beispielsweise ein Trägersubstrat, das für die interessierende Strahlung in dem optoelektronischen Bauelement transparent ist,
- die Dicke des Hilfssubstrats auf einen kleinen Wert verringert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, das den Schritt umfaßt, daß Wasserstoffionen in das Hilfssubstrat auf einer Höhe implantiert werden, die zumindest im wesentlichen dem kleineren Wert entspricht, dann Schritt b) ausgeführt wird, und anschließend die Dicke des Hilfssubstrats verringert wird, indem es auf der Höhe der

implantierten Wasserstoffionen gespalten wird.

3. Verfahren zum Herstellen eines Substrats, das für das Wachstum einer Abfolge von Epitaxieschichten auf diesem zur Erzeugung eines optoelektronischen Bauelements geeignet ist, wobei die Schichtabfolge eine erste Gitterkonstante aufweist und das Substrat eine Substratgitterkonstante aufweist, die gleich oder geringfügig verschieden von der ersten Gitterkonstante ist, wobei das Verfahren durch die folgenden Schritte gekennzeichnet ist, daß:

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

sen sind, das gemäß einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 hergestellt ist.

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

- a) ein Hilfssubstrat (z. B. ein GaAs-Wafer) ausgewählt wird, das eine Gitterkonstante aufweist, die gleich oder geringfügig verschieden von der ersten Gitterkonstante ist und für das Wachstum der Epitaxieschichten auf diesem geeignet ist,
- b) mindestens eine Epitaxieschicht (beispielsweise GaAlInP) auf das Hilfssubstrat aufgewachsen wird, wobei die mindestens eine Epitaxieschicht eine Gitterkonstante aufweist, die gleich der ersten Gitterkonstante oder geringfügig verschieden von der ersten Gitterkonstante ist, und für das Wachstum der Abfolge von Epitaxieschichten auf dieser geeignet ist,
- c) das Hilfssubstrat, das mindestens einen Epitaxieschicht aufweist, auf ein Trägersubstrat (beispielsweise GaP), das mindestens eine erwünschte physikalische Eigenschaft aufweist, jedoch eine Gitterkonstante besitzt, die von der ersten Gitterkonstante verschieden ist (beispielsweise ein Trägersubstrat, das für die interessierende Strahlung in dem optoelektronischen Bauelement transparent ist) gebondet wird, und
- d) das Hilfssubstrat entfernt wird, um die mindestens eine Epitaxieschicht auf das Trägersubstrat gebondet zurückzulassen.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die mindestens eine Epitaxieschicht eine Ätzstoppeschicht und eine oder mehrere weitere Epitaxieschichten umfaßt, und wobei das Hilfssubstrat im Anschluß an Schritt b) mindestens teilweise durch Ätzen entfernt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die Ätzstoppeschicht anschließend durch weiteres Ätzen entfernt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 3, das den Schritt umfaßt, daß Wasserstoffionen in das Hilfssubstrat auf einer Höhe implantiert werden, die zumindest im wesentlichen dem kleineren Wert entspricht, dann die Schritte b) und c) ausgeführt werden, und anschließend die Dicke des Hilfssubstrats verringert wird, indem es auf der Höhe der implantierten Wasserstoffionen gespalten wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei der restliche Teil des Hilfssubstrats, der über die mindestens eine Epitaxieschicht auf das Trägersubstrat gebondet ist, anschließend, beispielsweise durch Ätzen, entfernt wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das den Schritt umfaßt, daß eine Abfolge von Epitaxieschichten für die Erzeugung eines optoelektronischen Bauelements auf entweder eine freigelegte Oberfläche des Hilfssubstrats mit verringelter Dicke oder auf eine freigelegte Oberfläche der mindestens einen Epitaxieschicht aufgewachsen wird.

9. Substrat für das Wachstum einer Abfolge von Epitaxieschichten, um ein optoelektronisches Bauelement zu bilden, wobei das Substrat gemäß einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 hergestellt ist.

10. Optoelektronisches Bauelement mit einer Abfolge von Epitaxieschichten, die auf ein Substrat aufgewach-

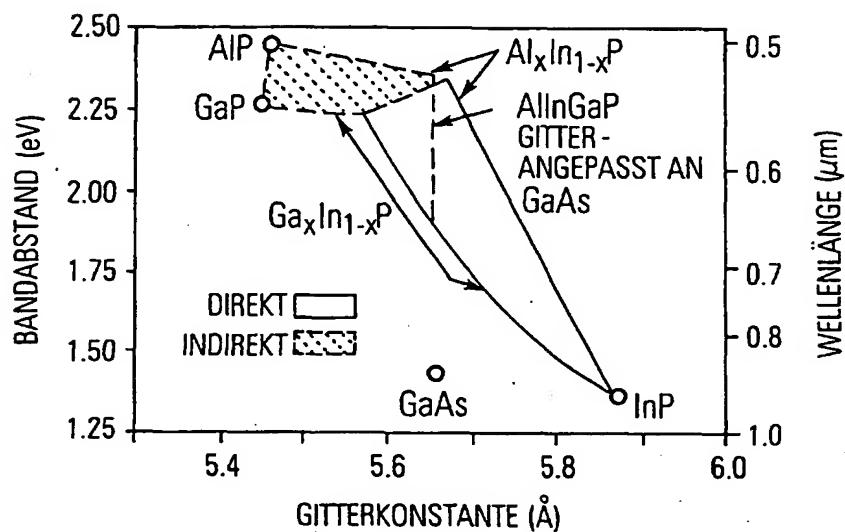
FIG.1

FIG. 2 1. GRUNDPRINZIP DER SUBSTRATHERSTELLUNG

WAFER AUS EINEM KRISTALL MIT
EINEM GITTER, DAS ZUR EPITAXIE
VON (OPTOELEKTROSCHEN) BAU-
ELEMENTSCHICHTEN GEIGNET IST

{ 10

+

12
+
TRÄGERSUBSTRAT MIT GEEIGNETEN
PHYSIKALISCHEN EIGENSCHAFTEN
(BELIEBIGE GITTERKONSTANTE)

HERSTELLUNG:

ÜBERTRAGUNG EINER SCHABLOONEN-
SCHICHT (D. H. KRISTALL MIT EINEM
GITTER, DAS FÜR DIE GEWÜNSCHTE
EPITAXIE GEIGNET IST), AUF EIN
GEEIGNETES TRÄGERSUBSTRAT (DESSEN
GITTEREIGENSCHAFTEN NICHT LÄNGER
FESTGELEGT SEIN MÜSSEN) DURCH
BONDEN (Z. B. WAFERDIREKTBONDEN
+ ANSCHLIESSENDEN VERDÜNNEN

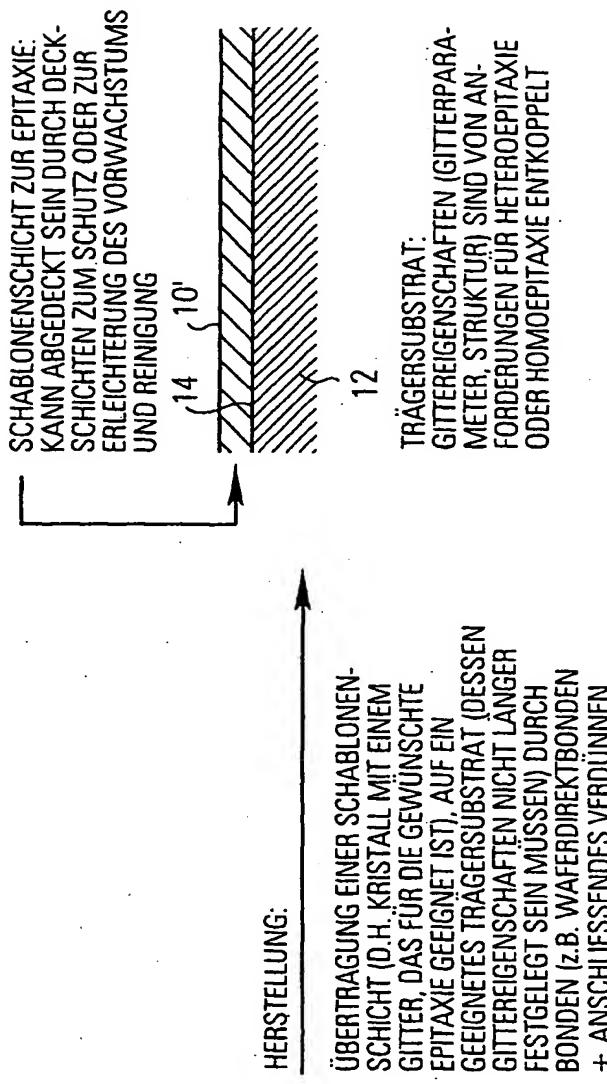
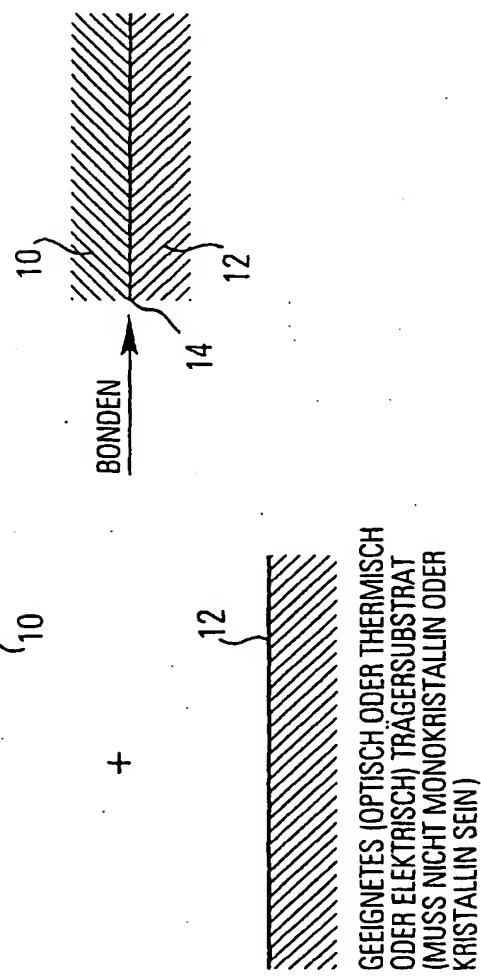


FIG.3 BEISPIEL 1-1: DÜNNER SCHABLONENSCHICHT, DIE VON MASSIVEM KRISTALL AUF TRÄGERWAFER ABERGENOMMEN WIRD

WAFER AUS KRISTALL MIT EINEM GITTER, DAS ZUR EPITAXIE GEEIGNET IST



SCHABLONENSCHICHT IST SO DÜNN, DASS SIE EINEN MERK- LICHEN TEIL DES LICHTES DES OTOELEKTROSEN BAU- ELEMENTS TRANSMITTIERT



GEEIGNETES (OPTISCH ODER THERMISCH ODER ELEKTRISCH) TRÄGERSUBSTRAT (MUSS NICHT MONOKRISTALLIN ODER KRISTALLIN SEIN)

FIG. 4 BEISPIEL 1-2: DÜNNER SCHABLONENSCHICHT, DIE VON EINEM MASSIVEN WAFER ÜBER
IONENSTRÄHLMIKROTOMIE ABGENOMMEN WIRD

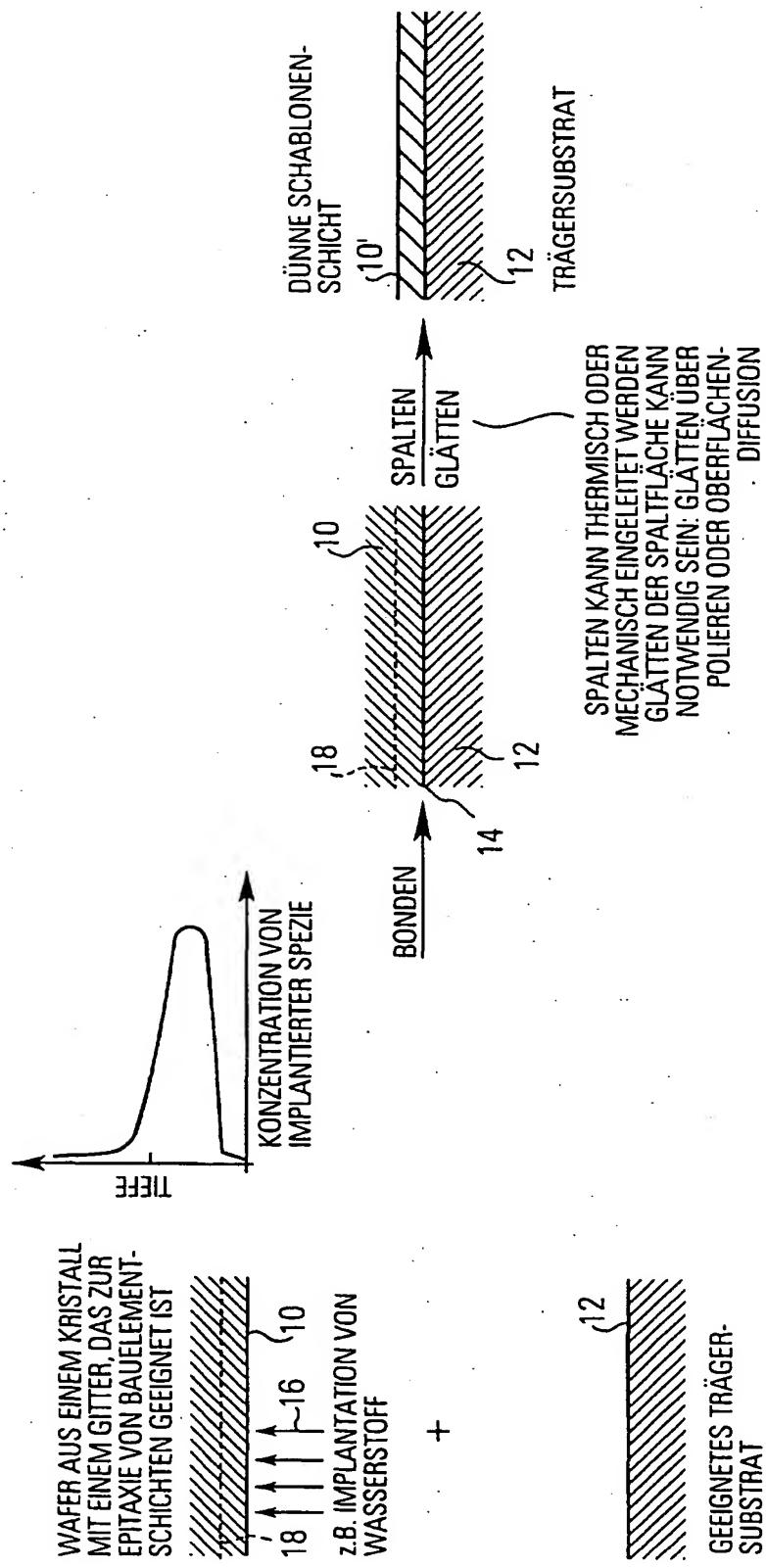
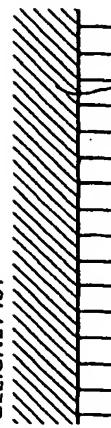
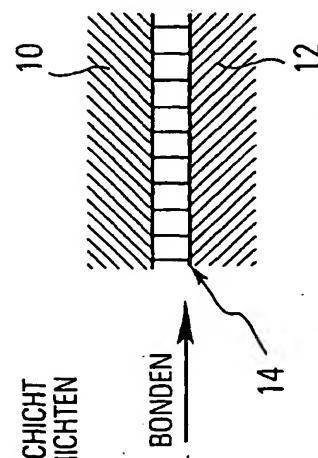


FIG. 5 BEISPIEL 2-1: DÜNNER SCHABLONENSCHICHT, DIE VON EINEM EPITAXIEKRYSTALL ABGENOMMEN UND AUF EINEN TRÄGERWAFER ÜBERTRAGEN WIRD

WAFER AUS EINEM KRYSTALL MIT
EINEM GITTER, DAS ZUR EPITAXIE
VON BAUELEMENTSCHICHTEN
GEEIGNET IST

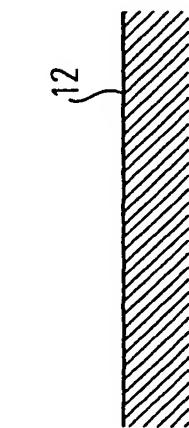


EPITAXIESCHICHT
ODER-SCHICHTEN



BONDEN

VERDÜNNEN



TRÄGERSUBSTRAT MIT GEEIGNETEN
PHYSISCHEN EIGENSCHAFTEN

SCHABLONENSCHICHT
ZUR EPITAXIE

20

12

TRÄGERSUBSTRAT

12

12

14

+

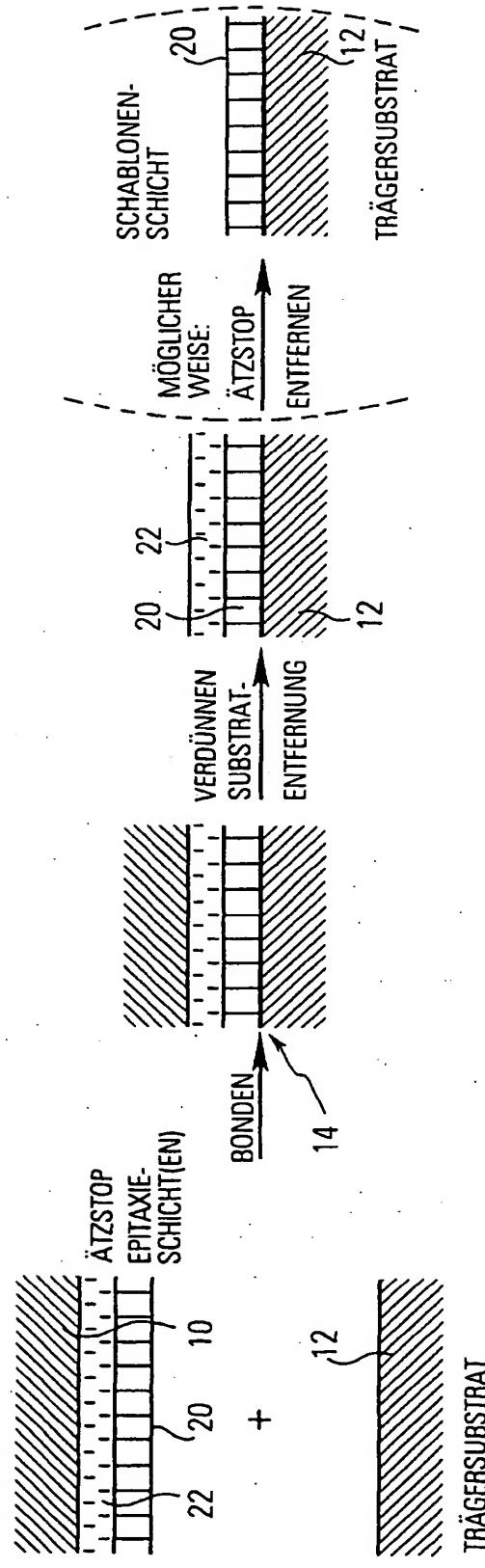
FIG.6 BEISPIEL 2-2: DÜNNER EPITAXIESCHABLOONENSCHICHT AUF EINEM TRÄGERSUBSTRAT:KRISTALLWAFER MIT EINER GE-
EIGNETEN GITTERKONSTANTE
MIT EPITAXIESCHICHTEN

FIG. 7 BEISPIEL 2: 3: DÜNNÉ EPITAXIESCHABLONENSCHICHT AUF EINEM TRÄGERSUBSTRAT:
VERWENDUNG VON IONENSTRÄHL-MIKROTOMIE

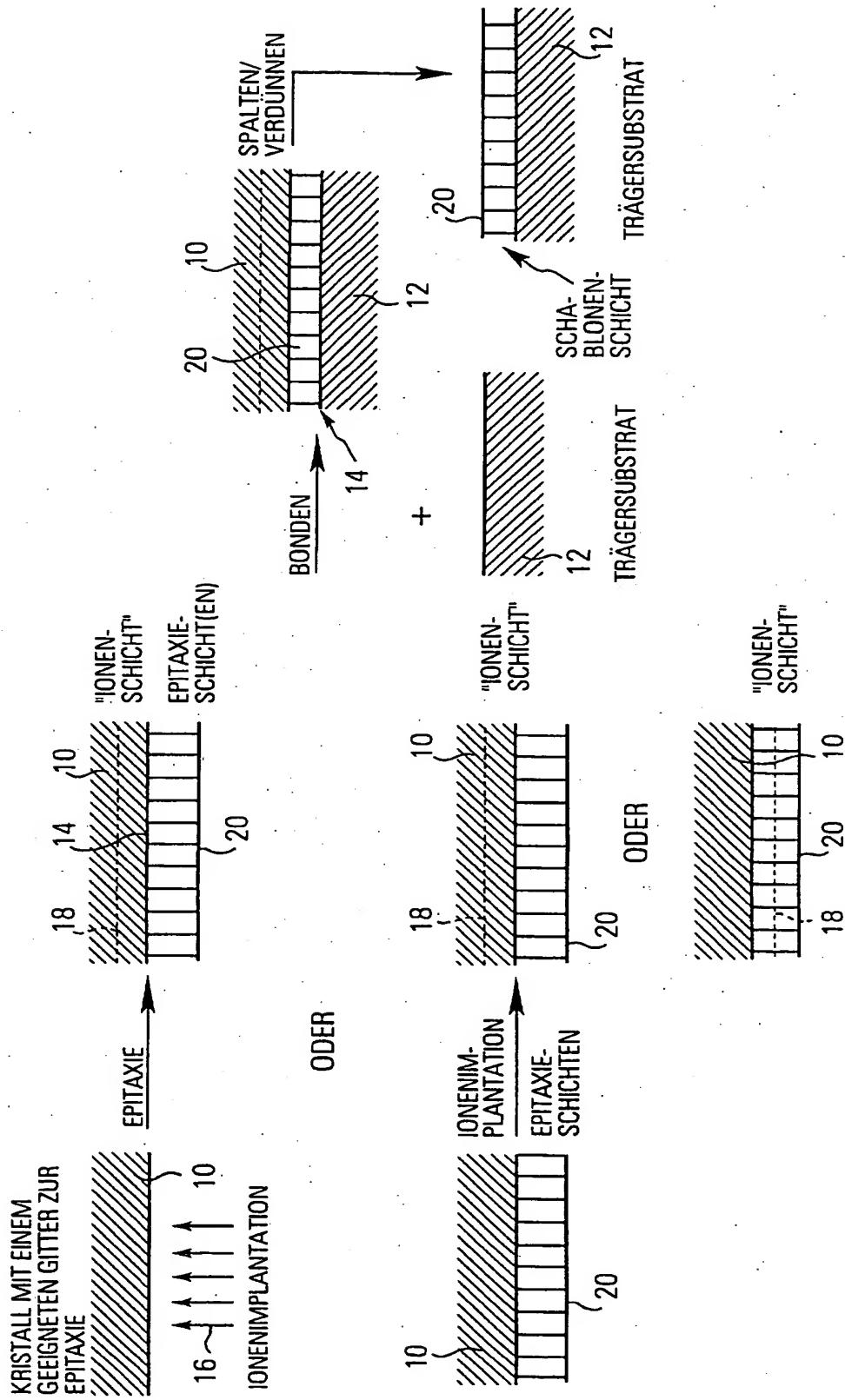
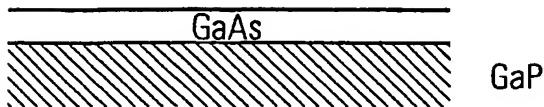


FIG.8

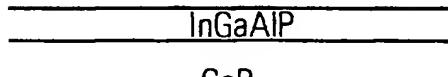
2. BEISPIELE DER ABSCHLIESSENDEN STRUKTUREN

1.



25nm GaAs ABSORBIEREN CA. 10%
DER PHOTONEN BEI $\lambda = 600\text{ nm}$

2. GITTER ANGEPASST AN EPITAXIE
VON OPTOELEKTRISCHEN
BAUELEMENTEN



InGaAlP KANN FÜR PRAKTISCH ALLE
AUF InGaAlP BERUHENDEN
OPTOELEKTRONISCHEN BAUELEMENTE
TRANSPARENT GEMACHT WERDEN

Dec 01 2005 at 11:10:10

Search: patnbr: DE19959182



Anzeige der Ergebnisse aus WPINDEX Datenbank

ANTWORT 1 © 2005 THE THOMSON CORP on STN

Title

Substrate fabricating method for optoelectronic device manufacture, involves bonding gallium arsenide wafer onto gallium phosphide substrate and reducing thickness of wafer to predetermined level.

Inventor Name

PLOESSL, A E

Patent Assignee

(PLAC) MAX PLANCK GES FOERDERUNG WISSENSCHAFTEN

Patent Information

WO 2001043185 A1 20010614 (200142)* EN 33 H01L021-76

RW: AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LU MC NL PT SE TR

W: JP US

DE 19959182 A1 20010628 (200144) H01L033-00 <--

Application Information

WO 2000-EP12308 20001206; DE 1999-1059182 19991208

Priority Application Information

DE 1999-19959182 19991208

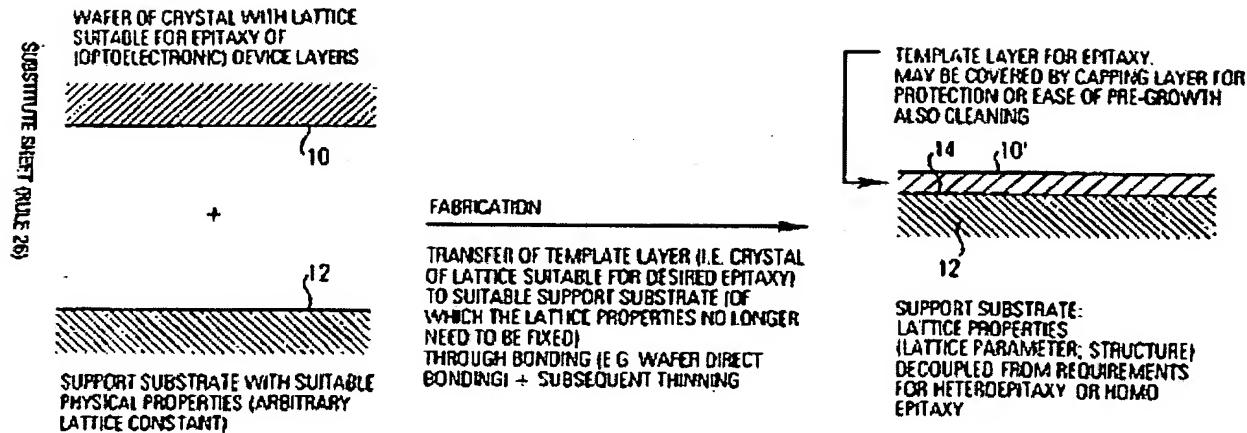
International Patent Classification

ICM H01L021-76; H01L033-00

ICS H01L021-18; H01S005-30

Graphic

BASIC PRINCIPLE OF SUBSTRATE FABRICATION



Abstract

WO 200143185 A UPAB: 20010726NOVELTY - A GaAs wafer (10) having lattice equal to or slightly different from predetermined lattice constant and suitable for growth of epitaxial layers is selected and bonded onto GaP substrate (12) having desirable physical property such as transparency for selective radiation. The thickness of the GaAs wafer is reduced to a preset value after which substrate (14) is fabricated. DETAILED DESCRIPTION - INDEPENDENT CLAIMS are also included for the following: (a) Substrate for growth of epitaxial layers; (b) Optoelectronic device USE - For fabricating substrate suitable for growth of epitaxial layer used in manufacture of optoelectronic device such as light emitting diode and vertical cavity surface emitting lasers (VSELS). ADVANTAGE - Reduces the plastic deformation during fabrication on the substrate by avoiding application of uneven pressure since substrate is less brittle than single crystal. Reduces the absorption problem, as subsequent etching and removal of the etch stop layer would leave a very thin layer of gallium arsenide. Significant simplification of fabrication process and potential yield improvement are achieved. DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows the basic principle of substrate fabrication. GaAs wafer 10 Substrates 12,14 Dwg.2/8

Accession Number

2001-398045 [42] WPINDEX